

Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, No 4. С. 181-194.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2022. Vol. 105, no 4. P. 181-194.

ФИЗИОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ

Научная статья
УДК 636.085:577.17:591.11
doi:10.33284/2658-3135-105-4-181

Оценка влияния пиколината хрома в рационе на биоморфологические показатели и элементный состав крови бычков

Святослав Валерьевич Лебедев¹, Оксана Вячеславовна Шошина², Виктория Владимировна Гречкина³, Елена Владимировна Шейда⁴, Айна Маратовна Камирова⁵, Александр Сергеевич Ушаков⁶

^{1,2,3,4} Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия
⁶ Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр животноводства-ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста», Боровск, Россия

¹sv74@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-7010>

²oksana.shoshina.98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4104-3333>

³viktoria1985too@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1159-0531>

⁴elena-snejda@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2586-613X>

⁵ayna.makaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8223>

⁶asu2004@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5253-6083>

Аннотация. Одной из самых популярных форм дополнительного органического хрома является пиколинат хрома, который представляет собой органическое соединение трёхвалентного хрома и пиколиновой кислоты, встречающегося в природе производного триптофана. Пиколиновая форма увеличивает всасывание хрома из желудочно-кишечного тракта, что обеспечивает его биологическую доступность при сравнении с неорганической. Целью нашего исследования стала оценка влияния пиколината хрома на морфологию и биохимию крови бычков. Исследования были проведены на 4 головах 12-месячных бычков казахской белоголовой породы со средней массой 324 кг. Животные контрольной группы получали стандартный рацион (СР), животным I группы дополнительно включали в рацион пиколинат хрома в дозе 100 мкг/кг корма, II группы – в дозе 200 мкг/кг корма и III группы – в дозе 300 мкг/кг корма. Наиболее эффективным оказалось включение в рацион бычков пиколината хрома в дозировке 300 мкг/кг корма, что способствовало усилению белкового и жирового обменов в организме, отмечалась тенденция к увеличению общего белка, альбумина, мочевины, холестерина и билирубина. Относительно других дозировок пиколинат хрома в дозе 300 мкг/кг корма повышал уровень глюкозы в крови на 0,8-11,9 %. Увеличение уровня гемоглобина при введении пиколината хрома в рацион бычков способствовало стимуляции ионообменных и окислительно-восстановительных в организме.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, бычки, казахская белоголовая пород, кормление, пиколинат хрома, кровь, морфологический анализ, биохимический анализ

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2021-2023 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0005).

Для цитирования: Оценка влияния пиколината хрома в рационе на биоморфологические показатели и элементный состав крови бычков / С.В. Лебедев, О.В. Шошина, В.В. Гречкина, Е.В. Шейда, А.М. Камирова, А.С. Ушаков // Животноводство и кормопроизводство. 2022. Т. 105, № 4. С. 181-194. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-4-181>

PHYSIOLOGY OF ANIMALS

Original article

Evaluation of the effect of chromium picolinate from the diet on biomorphological parameters and elemental composition of blood of bulls

Svyatoslav V Lebedev¹, Oksana V Shoshina², Victoria V Grechkina³, Elena V Sheyda⁴, Aina M Kamirova⁵, Alexander S Ushakov⁶

^{1,2,3,4,5} Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

⁶ Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Agricultural Animals – a branch of Federal public budgetary scientific institution "Federal Research Centre of Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst", Borovsk, Russia

¹sv74@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9485-7010>

²oksana.shoshina.98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4104-3333>

³viktoria1985too@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1159-0531>

⁴elena-snejda@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2586-613X>

⁵ayna.makaeva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1474-8223>

⁶asu2004@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5253-6083>

Abstract. One of the most popular forms of additional organic chromium is chromium picolinate, which is an organic compound of trivalent chromium and picolic acid, a naturally occurring derivative of

tryptophan. The picoline form increases the absorption of chromium from the gastrointestinal tract, which ensures its bioavailability when compared with inorganic. Accordingly, the aim of our study was to evaluate the effect of chromium picolinate on the morphology and biochemistry of the blood of bulls. The studies were carried out on 4 heads of 12-month-old Kazakh white-headed bulls, with an average weight of 324 kg. The animals of the control group received a standard diet (CP), the animals of group I were additionally included in the diet chromium picolinate at a dose of 100 mcg / kg of feed, group II at a dose of 200 mcg / kg of feed and group III at a dose of 300 mcg / kg of feed. The most effective was the inclusion of chromium picolinate in the diet of bulls at a dosage of 300 mcg / kg of feed, which contributed to the strengthening of protein and fat metabolism in the body. In the group of bulls treated with chromium picolinate at a dosage of 300 mcg / kg of feed, there was a tendency to increase total protein, albumin, urea, cholesterol and bilirubin. Relative to other dosages, chromium picolinate at a dose of 300 mcg/kg of feed increased blood glucose levels by 0.8% - 11.9%. An increase in hemoglobin levels with the introduction of chromium picolinate into the diet of bulls contributed to the stimulation of ion exchange and redox processes in the body.

Keywords: chromium picolinate, morphological analysis, biochemical analysis, blood, cattle

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2021-2023 FSBRI FRC BST RAS (No. 0761-2019-0005).

For citation: Lebedev SV, Shoshina OV, Grechkina VV, Sheyda EV, Kamirova AM, Ushakov AS. Evaluation of the effect of chromium picolinate from the diet on biomorphological parameters and elemental composition of blood of bulls. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(4):181-194. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-4-181>

Введение.

Хром относится к необходимому микроэлементу для животного организма. Установлено его содержание во всех органах и тканях живых существ. Отмечено участие хрома в белковом, жировом и углеводном обменах, в процессах гемопоэза, в обмене ферментов и гормонов, в развитии костной ткани (Шейда Е.В. и др., 2019).

Широкое распространение в животноводстве получили именно органические формы хрома, так как оказывают полезное действие на продуктивные качества животных. Органические хелаты Cr, известные как Cr метионин (CrMet), Cr пиколинат (CrPic), Cr никотинат (CrNic), Cr-дрожжи, Cr пропионат и Cr гистидинат, обладают более высокой биодоступностью и меньшей токсичностью, чем неорганические формы Cr (Han M et al., 2021). Традиционным источником органического хрома выступает пиколинат хрома, который представляет собой органическое соединение трёхвалентного хрома и пиколиновой кислоты, встречающегося в природе производного триптофана. Пиколиновая форма увеличивает всасывание хрома из желудочно-кишечного тракта, поэтому он более чем в десять раз биологически доступен в сравнении с неорганическими источниками (El Senosi YA et al., 2018).

В питании крупного рогатого скота хром в органической форме используют для укрепления иммунитета, увеличения потребления СВ рациона, восстановления после стресса, сохранения живой массы после отёла, а также повышения надоев (Фабер В. и др., 2020).

Хром обладает способностью воздействовать на механизмы гемопоэза. Совместно с кристаллическим трипсином отщепляет ионы хрома, при этом активируя сам фермент. Соли хрома угнетают спиртовое брожение, усиливают деятельность инсулина, воздействуют на обмен углеводов и энергии (Кислякова Е.М. и Ломаева А.А., 2017).

При введении в рацион сельскохозяйственным животным препаратов хрома отмечается улучшение минерального и белкового обменов. Хромовые дрожжи в составе комбикормов улучшают продуктивные качества, плодовитость свиноматок, а также среднесуточные приросты молодняка, наряду с этим затраты обменной энергии значительно сокращаются (Лобков В.Ю. и Фролов А.И., 2018). У животных, подвергшихся термическому стрессу, которым вводили пропионат хрома, не наблюдалось никаких изменений в большинстве параметров крови, за исключением нейтрофилов. У свиней с тепловым стрессом, получавших добавку пропионата хрома, наблюдалось увеличение количества нейтрофилов в крови на 37 % по сравнению с контрольной группой (Mayorga EJ et al., 2019).

Оптимальный уровень хрома в рационах жвачных животных стимулирует в крови развитие красных кровяных телец, уровень железосодержащего белка, общего белка, а также входящих в его состав альбуминов и глобулинов, общего кальция и неорганического фосфора. Такие показатели усиливают обмен веществ, а в результате – и состояние здоровья животных (Кокорев В.А. и др., 2017). Ежедневное введение 3,5 мг пиколината хрома лактирующим коровам в условиях теплового стресса не приводило к каким-либо изменениям в уровнях холестерина, глюкозы, белка или креатинина (Jin D et al., 2017).

Комплексный анализ данных не даёт однозначной картины на эффективность использования хрома на метаболические параметры в организме животных.

Цель исследования.

Анализ морфологических и биохимических показателей крови бычков в результате добавления в рацион различных доз пиколината хрома.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Бычки казахской белоголовой породы возрастом 12 месяцев, со средней массой 324 кг.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (1987 г.; Приказ Минздрава СССР No 755 от 12.08.1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных») и «Guide for the Care and Use of Laboratory Animals» (National Academy Press, Washington, D.C., 1996). При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. Для определения интенсивности обменных процессов нами был проведён физиологический опыт с декабря по март 2021 года на 4 головах крупного рогатого скота в виварии на базе лаборатории биологических испытаний и экспертиз Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук. Животные содержались в клетках ($S=4m^2$) индивидуально, со свободным доступом к воде и корму. В течение экспериментального периода, температура окружающей среды поддерживалась между $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Эксперимент проводился в четырёх повторностях с использованием метода латинского квадрата 4×4 . Важная особенность метода латинского квадрата в том, что сравнивают только действие изучаемых факторов. Периоды группы или квадраты не сравниваются между собой. Такой метод позволяет на малом количестве животных провести опыты по оценке действия различных доз пиколината хрома на показатели крови и получить статистически достоверные данные.

Подготовительный период, в течение которого животные контрольной и опытных групп находились на экспериментальных рационах, составил 7 дней. Рационы для животных были сформированы по потребности в питательных веществах и энергии (Калашников А.П. и др., 2003). Животные контрольной группы получали стандартный рацион (СР), который включал сено разнотравное (4 кг), силос кукурузный (4,2 кг), дроблёная зерносмесь (2 кг), жмых подсолнечный (0,8 кг), патока кормовая (0,5 кг), соль поваренная 40 г, монокальцийфосфат (120 г), премикс (28 г) (табл. 1).

Животным опытных групп дополнительно включали в рацион пиколинат хрома ("Nature's Bounty, Inc.", США): I – в дозе 100 мкг/кг корма, II – в дозе 200 мкг/кг корма и III – в дозе 300 мкг/кг корма (при дозировке 100 – 2,4 мг, при дозировке 200 – 4,8 мг, при дозировке 300 – 6,4 мг). Данные дозировки и оптимальная форма вещества были установлены через проведение лабораторного исследования в искусственном рубце «*in vitro*». Учётный период составил 7 суток.

Забор крови у животных для оценки морфологических и биохимических показателей осуществлялся утром, натощак, на 7 сутки учётного периода из ярёмной вены в вакуумные пробирки с добавлением антикоагулянта для морфологических исследований, для биохимических показателей – в вакуумные пробирки с активатором свёртывания (тромбин).

Таблица 1. Структура рецепта и показатели качества рациона, кг
Table 1. The structure of the recipe and indicators of the diet quality, kg

Показатели / <i>Indicators</i>	Кг/гол./сут / <i>kg/head/day</i>
Сено разнотравное / <i>Hay</i>	4
Силос кукурузный / <i>Corn silo</i>	4,2
Дробленая зерносмесь / <i>Crushed grain mixture</i>	2
Подсолнечный жмых / <i>Sunflower meal</i>	0,8
Патока кормовая / <i>Feed molasses</i>	0,5
Премикс ПК-60 / <i>Premix PK-60</i>	28
Монокальций фосфат / <i>Monocalcium phosphate</i>	120
Соль лизунец / <i>Saltlick</i>	40
Питательность рациона / <i>Nutritional value of the diet</i>	
Сухое вещество / <i>Dry matter</i>	408,9
Сырая клетчатка / <i>Crude fiber</i>	2051,3
Сырой жир / <i>Crude fat</i>	279,5
Сырой протеин / <i>Crude protein</i>	1174,1
Кальций / <i>Calcium</i>	27,7
Фосфор / <i>Phosphorus</i>	12,57
Медь / <i>Copper</i>	37,44
Цинк / <i>Zinc</i>	171,72
Кобальт / <i>Cobalt</i>	0,628
Железо / <i>Iron</i>	1106,9
Марганец / <i>Manganese</i>	243,3
ОЭ МДж / <i>OE MJ</i>	96,8
Сахар, г / <i>Sugar, g</i>	577,24

Оборудование и технические средства. Морфологические и биохимические исследования крови выполнены в лаборатории «Нанотехнологии в сельском хозяйстве» и Испытательном центре ЦКП БСТ РАН <http://цкп-бст.рф>. Морфологический анализ осуществляли на автоматическом гематологическом анализаторе URIT-2900 VetPlus («URIT Medical Electronic Group Co., Ltd», Китай). Биохимический анализ сыворотки крови – на автоматическом анализаторе CS-T240 («DIRUI Industrial Co., Ltd», Китай) с использованием коммерческих наборов для ветеринарии (ЗАО «ДИАКОН-ДС», Россия).

Статистическая обработка. Статистический анализ выполняли с использованием методик ANOVA (программный пакет «Statistica 10.0» («Stat Soft Inc.», США) и «Microsoft Excel» («Microsoft», США). Статистическая обработка включала расчёт среднего значения (M) и стандартные ошибки среднего (\pm SEM). Достоверность различий сравниваемых показателей определяли по t-критерию Стьюдента. Уровень значимой разницы был установлен на $P \leq 0,05$.

Результаты исследований.

Анализ морфологических параметров крови бычков показал, что хром в рационе животных снижает уровень моноцитов во всех группах относительно контрольных значений: в I группе – на 29,3 %, во II и III группах – на 37,3 % и 44,3 %. Уровень тромбоцитов повышался относительно контроля в I группе на 91,3 %, во II и III группах – на 90,8 % и 90,3 % соответственно. Уровень гемоглобина во всех группах был выше контрольных значений: в I группе – на 10,1 %, во II – на 9,6 %, в III группе – на 11,5 %.

Введение пиколината хрома в разных дозировках способствовало снижению среднего объёма эритроцитов в I группе на 8,85 %, во II – на 8,65 %, в III группе – на 8,4 % относительно данных контроля. Уникальный эритроцитарный индекс во всех группах повышался относительно кон-

трольных значений на 7,95 %. Уровень заполняемости эритроцитов гемоглобином в опытных группах был ниже данных контроля на 2,15 %, 2,03 % и 1,9 % соответственно в I, II и III группах. Пиколинат хрома в рационе снижал уровень тромбоцитов в I группе на 11,9 %, во II и III группах – на 13,7 % и 15,4 %. Повышение содержания эритроцитов и гемоглобина в крови телят опытных групп можно рассматривать как улучшение ионообменных и окислительно-восстановительных процессов.

Индекс соотношения лимфоцитов и моноцитов (ИСЛМ) отражает взаимоотношение аф-фекторного и эф-фекторного звеньев иммунологического процесса. У животных всех опытных групп индекс ИСЛМ был выше относительно бычков контрольной группы: I опытной – на 49,61 %, II опытной – 47,44 %, III опытной – 40,31 % (табл. 2).

Таблица 2. Анализ морфологических показателей крови при введении пиколината хрома в рацион бычков (n=4, M±m)

Table 2. Analysis of morphological parameters of blood after chromium picolinate was included into the diet of bulls (n = 4, M ± m)

Показатели/Indicators	Группы / Groups			
	контроль/ Control	I	II	III
Лейкоциты, 10 ⁹ /л / White blood cells, 10 ⁹ /l	6,62±0,02	7,023±0,2	7,507±0,2	7,99±0,1***
Нейтрофилы, % / Neutrophils, %	26,60±0,18	27,4±0,5	39,05±7,05	50,7±13,6
Лимфоциты, % / Lymphocytes, %	61,20±0,27	60,5±0,2	50,25±0,1	40±12,04
Моноциты, % / Monocytes, %	10,10±0,06	6,23±0,1***	5,33±0,9**	4,43±1,6*
Эозинофилы, % / Eosinophils, %	0,53±0,08	4,97±0,2***	4,44±1,05***	3,9±1,9
Базофилы, % / Basophils, %	0,40±0,06	0,9±0,2	0,94±0,2	0,97±0,2
Нейтрофилы, 10 ⁹ /л / Neutrophils, 10 ⁹ /l	1,78±0,006	1,93±0,08	3,01±0,6	4,09±1,1
Лимфоциты, 10 ⁹ /л / Lymphocytes, 10 ⁹ /l	4,00±0,06	4,25±0,1	3,71±0,5	3,17±0,9
Моноциты, 10 ⁹ /л / Monocytes, 10 ⁹ /l	0,62±0,03	0,44±0,03**	0,39±0,07***	0,35±0,1
Индекс соотношения лимфоцитов и моноцитов / The index of the ratio of lymphocytes and monocytes	6,45	9,65	9,51	9,05
Эозинофилы, 10 ⁹ /л / Eosinophils, 10 ⁹ /l	0,03±0,06	0,343±0,01***	0,327±0,1	0,310±0,2
Базофилы, 10 ⁹ /л / Basophils, 10 ⁹ /l	0,02±0,06	0,057±0,01	0,064±0,01	0,070±0,02
Эритроциты, 10 ¹² /л / Red blood cells, 10 ¹² /l	5,527±0,08	5,837±0,18	5,805±0,12	5,773±0,05
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	97,33±1,2	108,3±3,9*	107,7±2,8**	110±1,7**
Гематокрит, % / Hematocrit, %	23,30±0,11	26,4±0,8*	26,15±0,5*	25,9±0,2***
Средний объем эритроцита, fl / Average red blood cell volume, fl	41,20±0,2	45,2±0,05***	45,1±0,05***	45±0,06***
Среднее содержание гемоглобина в эритроцитах, pg / Average hemoglobin content in red blood cells, pg	17,03±0,2	18,5±0,1*	18,5±0,2*	18,5±0,2**
Средняя концентрация гемоглобина в эритроцитах, г/л / The average concentration of hemoglobin in red blood cells, g/l	419±0,6	410±2,52*	410,5±3,2	411±3,8
Ширина распределения эритроцитов, % / Width of red blood cell distribution, %	17,20±0,3	17,97±0,03*	17,94±0,05**	17,9±0,06*
Ширина распределения эритроцитов (стандартное отклонение), % / Red blood cell distribution width (standard deviation), %	29,53±0,1	33,1±0,06***	32,9±0,05***	32,8±0,03***
Тромбоциты, 10 ⁹ /л / Platelets, 10 ⁹ /l	261±0,6	229,7±4,2***	225,2±3,3**	220,7±2,3***

Примечание: * – P≤0,05 при сравнении с контрольной группой

Note: * – P≤0.05 when compared with the control group

В результате оценки биохимического анализа в нашем исследовании отмечено снижение уровня глюкозы в I группе на 18,7 %, а во II и III группах – на 8,5 % и 7,7 % соответственно относительно контроля ($P \leq 0,05$).

Общий белок в I группе снижался на 5,6 %, а во II и III группах, напротив, повышался на 0,4 % и 0,5 % ($P \leq 0,05$). Уровень альбумина в I группе снижался на 10,08 % относительно контроля, а во II и III группах был выше контрольных значений на 5% и 6,9 % ($P \leq 0,05$). Уровень аланинаминотрансферазы (АЛТ) во всех группах был выше контрольных значений: в I группе – на 23,5 %, во II – на 24,2 %, в III группе – на 20,6 % ($P \leq 0,05$). Уровень аспаргатаминотрансферазы (АСТ) во всех группах снижался: в I группе – на 10,7 %, во II – 26,1 %, в III группе – на 4,8 % относительно контроля соответственно ($P \leq 0,05$).

Кроме того, отмечено повышение уровня фермента АЛТ, напротив, уровень фермента АСТ снижался. Соотношение активности АСТ:АЛТ аминотрансфераз при введении пиколината хрома изменялось в зависимости от вводимой дозы. Высокие значения коэффициента де Ритиса наблюдались в контрольной группе животных, снижение показателя происходило в III и I опытных группах на 19,10 и 26,87 % соответственно. Включение в рацион пиколината хрома 200 мкг/кг приводило к уменьшению коэффициента во II опытной группе бычков на 40,01 %. Это говорит о том, что субстраты в активной форме поступают в цикл трикарбоновых кислот и о преобладании центрального звена метаболизма.

Включение пиколината хрома способствовало усилению интенсивности липидного обмена, что обусловлено увеличением в сыворотке крови уровня холестерина и билирубина. Отмечено повышение в сыворотке крови билирубина в I, II, III группах на 56,5 %, 28,6 %, 65,6 % относительно контроля ($P \leq 0,05$). Холестерин также в I, II, III группах был выше контрольных данных на 26,5 %, 22 %, 27,9 % соответственно ($P \leq 0,05$). При этом уровень триглицеридов снижался в I группе на 83,8 %, во II – на 75,7 %, в III – на 84,6 % при сравнении с контрольными значениями ($P \leq 0,05$).

Введение в рацион пиколината хрома повышало интенсивность белкового обмена, так как концентрация мочевины в сыворотке крови повышалась во всех опытных группах. Продукт распада белков и мочевой кислоты – креатинин повышался также во всех трёх группах. Уровень мочевины повышался в I группе на 68,5 %, во II – на 36,8 %, в III группе – на 75,8 % относительно контроля ($P \leq 0,05$). Креатинин в I группе повышался на 9,5 %, во II – на 7,2 %, в III группе – на 9,2 % относительно контрольных значений ($P \leq 0,05$). Напротив, мочевая кислота снижалась в I группе на 69,4 %, во II – на 58,5 %, в III группе – на 79,6 % по сравнению с контролем ($P \leq 0,05$) (табл. 3).

Таблица 3. Анализ биохимических показателей крови при введении пиколината хрома в рацион бычков ($n=4$, $M \pm m$)

Table 3. Analysis of blood biochemical parameters after chromium picolinate was included into the diet of bulls ($n=4$, $M \pm m$)

Показатель / Indicator	Группа / Group			
	контрольная / Control	I	II	III
Глюкоза, ммоль/л/ Glucose, mmol/l	4,02±0,01	3,27±0,03***	3,68±0,08**	3,71±0,02***
Общий белок, г/л/ Total protein, g/l	90,33±0,24	85,3±0,24	90,7±0,21***	90,8±0,6
Альбумин, г/л/ Albumin g/l	36,7±0,2	33±0,58**	38,6±0,09**	39,4±0,33***
АЛТ, Ед/л/ ALT, Units/l	21,2±0,17	27,7±0,26***	27,9±0,12***	26,7±0,5***
АСТ, Ед/л/ AST, Units/l	76,07±0,75	67,9±0,27***	56,2±0,15***	72,4±0,13**
Коэффициент де Ритиса (АСТ:АЛТ)/ De Ritis Coefficient (AST:ALT)	3,35	2,45	2,01	2,71
Билирубин общий, мкмоль/л/ Total bilirubin, mmol/l	1,37±0,02	3,15±0,08***	1,92±0,03***	3,98±0,04***
Холестерин, ммоль/л/ Cholesterol, mmol/l	2,02±0,02	2,75±0,01***	2,59±0,008***	2,8±0,04***
Триглицериды, ммоль/л/ Triglycerides, mmol/l	0,37±0,3	0,06±0,003	0,09±0,003	0,057±0,003
Мочевина, ммоль/л/ Urea, mmol/l	0,67±0,08	2,13±0,07***	1,06±0,03**	2,77±0,13***
Креатинин, мкмоль/л/ Creatinine, mmol/l	116,9±0,08	129,2±1,12***	126±0,4***	128,8±0,4***
Мочевая кислота, мкмоль/л/ Uric acid, mmol/l	19,3±0,23	5,9±0,9***	8±0,6***	3,93±1,13***

Примечание: * – $P \leq 0,05$, ** – $P \leq 0,01$, *** – $P \leq 0,001$ при сравнении с контрольной группой

Note: * – $P \leq 0.05$, ** – $P \leq 0.01$, *** – $P \leq 0.001$ when compared with the control group

Содержание в сыворотке крови минеральных веществ определяет уровень обменных процессов во всём организме (рис. 1).

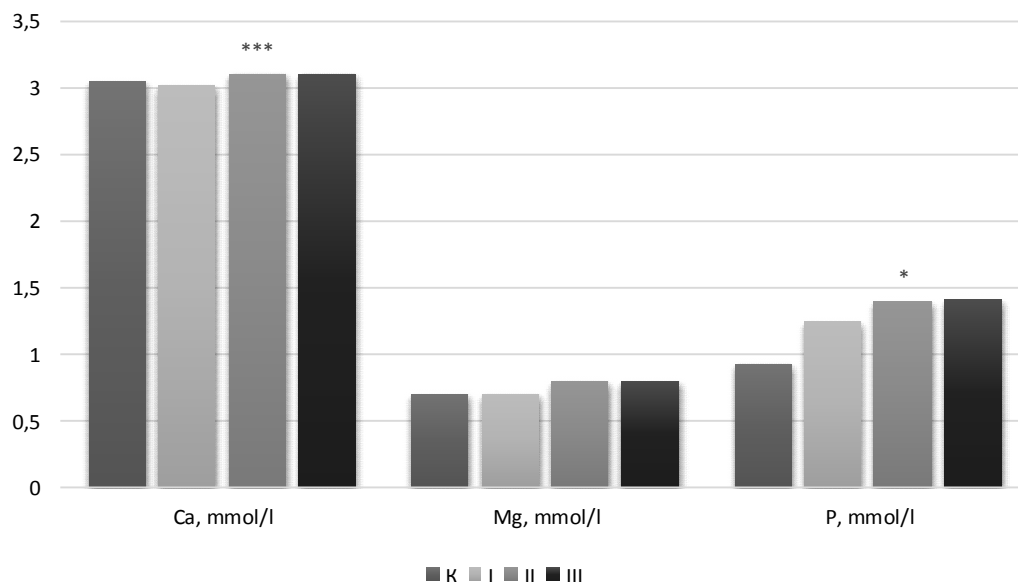


Рис. 1 – Уровень химических элементов в сыворотке крови при введении пиколината хрома в рационы бычков
Figure 1 – The level of chemical elements in blood serum after chromium picolinate was added to the diets of bulls

Примечание: * – $P \leq 0,05$, ** – $P \leq 0,01$, *** – $P \leq 0,001$ при сравнении с контрольной группой
Note: * – $P \leq 0.05$, ** – $P \leq 0.01$, *** – $P \leq 0.001$ when compared with the control group

Установлено, что включение в рационы пиколината хрома неоднозначно влияет на уровень кальция, магния и фосфора в крови. Концентрация кальция относительно контрольных значений в I группе изменялась незначительно, во II и III группах повышалась на 1,7 % ($P \leq 0,05$). Уровень магния в I группе был на уровне контрольных данных. Во II и III группах его уровень повышался относительно контроля на 12,5 % ($P \leq 0,05$). Уровень фосфора повышался во всех опытных группах на 26,4 %, 34,3 % и 34,8 % соответственно в I, II и III группах относительно данных контроля ($P \leq 0,05$).

Таким образом, анализируя гематологические и биохимические показатели крови у бычков, можно сделать вывод, что обменные процессы в их организме при внесении в рацион пиколината хрома в дозе 200 мкг/кг протекали интенсивнее по сравнению с животными, получавшими пиколинат в дозах 100 и 300 мкг/кг корма.

Обсуждение полученных результатов.

Микроминерал хром оказывает влияние на обмен углеводов, липидов, метаболизм аммиака и нуклеиновых кислот. Добавка на основе хрома в рационы моногастричных животных положительно сказывается на пищеварении (Vompadre TFV et al., 2020).

Ввиду небольшого размера хром способен попадать в кровеносные капилляры, поглощаясь при этом клетками. Далее он объединяется с трансферрином и в зависимости от химического состояния попадания в организм распространяется по тканям, после чего в форме ацетатных и цитратных соединений выводится с мочой и фекалиями 60-90 % от количества поступившего хрома (Vompadre TFV et al., 2020).

Шейда Е.В. с коллегами (2019) установили, что введение пиколината хрома в рацион лабораторных животных в дозировке 300 мкг/кг корма способствует повышению в организме животных фосфора, кальция и калия на 98,4 %, 49,2 % и на 44,1 % относительно контрольных значений.

В нашем исследовании мы установили, что включение в рационы бычков пиколината хрома в дозе 200 и 300 мкг/кг корма сопровождается увеличением уровня кальция. При этом концентрация фосфора в сыворотке крови повышалась в группах, получавших хром в дозировке 100 мкг/кг и 300 мкг/кг корма, но снижался при дозировке 200 мкг/кг корма. Уровень железа снижался во всех опытных группах.

Кормовая добавка на основе органического хрома способствует повышению уровня глюкозы на 23,5 % ($P \leq 0,01$)-31 % ($P \leq 0,001$) относительно контрольной группы, что подтверждает модулирующее действие хрома относительно глюкозы (Кислякова Е.М. и Ломаева А.А., 2017).

Отмечено, что включение хрома в дозировке 100-300 мкг/кг показывает снижение глюкозы в крови на 7,7-18,6 % ($P \leq 0,05$). Установлено, что уровень инсулина, напротив, увеличивается при снижении концентрации глюкозы и позволяет ей проникать в клетку и может подавлять липолиз. Сообщалось, что снижение мобилизации жиров уменьшает зависимость от запасов в организме и уменьшает концентрацию холестерина в крови (Deka RS et al., 2015).

Анализ данных биохимии крови подопытных животных, показал, что основные показатели не выходят за пределы нормы и существенно не отличаются друг от друга.

Включение в рацион лактирующих коров хрома в дозе 4 мг/сут не оказывал существенного влияния на холестерин, триглицеридов, мочевины и глюкозы в сыворотке крови, но показал снижение концентрации общего белка (Bin-Jumah M et al., 2020).

Предполагается, что хромодулин, низкомолекулярное вещество, связывающее хром, принимает участие в метаболизме глюкозы. Хромодулин представляет собой встречающийся в природе олигопептид, в состав которого входят: глицин, цистеин, аспарат, глутамат (Arakawa H et al., 2016). Хромодулин связывает ионы хрома в ответ на поток ионов хрома, опосредованный инсулином, и насыщенный металлом олигопептид может связываться с рецептором инсулина, стимулируемым инсулином, активируя в рецепторе фермент тирозинкиназу. Молекула связывает четыре эквивалента хрома, несмотря на свой небольшой размер. Хромодулин выводит хром с мочой после приёма больших доз хрома, как в трёхвалентной, так и в шестивалентной формах и, следовательно, может способствовать детоксикации хрома (Edwards KC et al., 2020). Было показано, что хромодулин активирует деятельность тирозинкиназы, стимулируемого инсулином рецептора инсулина, и воздействует на мембранную фосфотирозинфосфатазу в мембранах адипоцитов (Baggerman JO et al., 2020; Lashkari S et al., 2018).

Добавление пропионата хрома снижало концентрацию холестерина в плазме крови у 6-месячных телят-самцов буйволов. Было обнаружено, что добавки хрома повышают выведение глюкозы из крови растущих телят голштинской породы (Mousavi F et al., 2019) и снижают уровень холестерина в крови у телят (Smock T et al., 2019).

Vincent JB (2017) предложил механизм, с помощью которого хромодулин принимает участие в передаче сигналов инсулина. В соответствии с этим апохромодулин находится в клетках, которые чувствительны к гормону поджелудочной железы. После чего инсулин вступает в связь с рецептором, что приводит к изменению конформации. На внутренней части рецептора происходит аутофосфорилирование остатков тирозина. Данные процессы связаны с повышением концентрации инсулина в крови. Затем рецептор преобразуется в активную тирозинкиназу и сигнал поступает от инсулина в клетку. В ответ на инсулин хром переносится из крови в клетки, чувствительные к инсулину, где и осуществляется заполнение апохромодулина хромом. Для поддержания рецептора в активной конформации холохромодулин связывается с самим рецептором, в результате усиливается киназная активность рецептора. При отключении передачи сигналов повышается уровень инсулина в крови, от чего конформация рецептора ослабевает и из клетки холохромодулин переходит в кровь. В конце хромодулин отлично удаляется через мочу.

В исследовании Kosla T с коллегами (2018) отмечено, что белок плазмы крови, осуществляющий транспорт ионов железа трансферрин, обладает способностью поддерживать уровень хромаквари, а также переносить хром к инсулиночувствительным тканям.

Хромодулину принадлежит одна из важнейших функций – сходство представленного механизма действия с принципом механизма белка кальмодулина, который связывает кальций (Killilea DW and Killilea AN, 2022).

Две молекулы в ответ на поток ионов металлов соединяют четыре эквивалента ионов металлов, и оба холопротеина избирательно связываются с киназами и фосфатазами, стимулируя таким образом их активность. Ожидается, что опосредованное хромодулином повышение активности тирозинкиназы усилит регулируемое движение транспортёра глюкозы и, следовательно, улучшит утилизацию глюкозы.

Обнаружено, что хром увеличивает синтез жира в жировой ткани и уменьшает чистое высвобождение. Предполагается, что это происходит за счёт связывания хромодулина с рецептором инсулина и увеличения притока глюкозы в адипоцит. Обнаружено также, что хром влияет на метаболизм холестерина и триглицеридов, хотя механизм этого не установлен. Предполагается, что это происходит с помощью средств, аналогичных действию противодиабетического препарата метформина. Сообщалось, что метформин ускоряет 5'АМФ-активируемую протеинкиназу — клеточную протеинкиназу, контролирующую энергетический баланс клетки, а стимулируемая метформином действенность АМФ-активируемой протеинкиназы, как было показано, подавляет экспрессию белка, связывающего стероидный регуляторный элемент (Jahandideh F and Wu J, 2022), который принадлежит к семейству ключевых липогенных факторов транскрипции, непосредственно участвующих в экспрессии более 30 генов, отвечающих за синтез и поглощение холестерина, жирных кислот, триглицеридов и фосфолипидов, а также кофактора восстановленного никотинамидадениндинуклеотидфосфата, необходимого для синтеза этих молекул (Duan Y et al., 2022).

Заключение.

Использование пиколината хрома в рационе молодняка крупного рогатого скота и изменяет морфологические и биохимические параметры крови. Наиболее эффективным в использовании оказалось включение в рацион бычков пиколината хрома в дозировке 300 мкг/кг корма, что способствовало усилению белкового и жирового обменов в организме, увеличению общего белка, альбумина, мочевины, холестерина и билирубина. Относительно других дозировок пиколинат хрома в дозе 300 мкг/кг корма повышал уровень глюкозы в крови на 0,8-11,9 %, что улучшает интенсивность энергетического обмена в организме и может быть использовано для коррекции обмена энергии за счёт стимуляции ионообменных и окислительно-восстановительных процессов.

Список источников

1. Влияние различных форм хрома на обмен химических элементов в организме крыс линии Wistar / Е.В. Шейда, С.В. Лебедев, И.З. Губайдуллина, В.А. Рязанов, И.А. Гавриш // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 2(76). С. 167-171. [Sheida EV, Lebedev SV, Gubaidullina IZ, Ryazanov VA, Gavrish IA. Impact of different forms of chrome on the chemical elements metabolism in the organism of rats of the Wistar line. Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2019;2(76):167-171. (In Russ.)].

2. Кислякова Е.М., Ломаева А.А. Влияние добавок органического хрома на продуктивные и репродуктивные показатели коров черно-пестрой породы // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2017. № 4. С. 76-80. [Kislyakova EM, Lomaeva AA. Influence of organic chrome additives on productive and reproductive indicators of black and pestered breeds. Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine. 2017;4:76-80. (In Russ.)].

3. Лобков В.Ю., Фролов А.И. Биохром в составе комбикорма для свиней // Вестник АПК Верхневолжья. 2018. № 3(43). С. 54-57. [Lobkov VYu, Frolov AI. Biochrome in the composition of mixed pig feed. Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga region. 2018;3(43):54-57. (In Russ.)].
4. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справ. пособие / под ред. А.П. Калашников, В.И. Фисинин, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. 3-е изд., доп. и перераб. М., 2003. С. 110-123. [Kalashnikov AP, Fisinin VI, Shheglova VV, Klejmenova NI. Normy i raciony kormlenija sel'skhozjajstvennyh zhivotnyh: spravochnoe posobie. 3-e izd., dop. i pererab. Moscow; 2003:110-123. (In Russ.)].
5. Продуктивность полновозрастных коров при разных уровнях хрома в их рационах / В.А. Кокорев, Е.В. Болотин, Н.И. Гибалкина, А.Н. Федаев, А.М. Гурьянов // Животноводство и ветеринарная медицина. 2017. № 2. С. 20-30. [Kokorev VA, Bolotin EV, Rybalkina NI, Fedaev AN, Gur'yanov AM. Productivity of mature cows at different levels of chromium in their diets. Animal Agriculture and Veterinary Medicine. 2017;2:20-30. (In Russ.)].
6. Фабер В., Акмалиев Т., Гусева О. Минеральное питание жвачных // Животноводство России. 2020. № 5. С. 30-33. [Faber W, Akmaliev T, Guseva O. Mineral nutrition for ruminants. Zhivotnovodstvo Rossii. 2020;5:30-33. (In Russ.)].
7. Arakawa H, Kandadi MR, Panzhinskiy E, Belmore K, Deng G, Love E, Robertson PM, Commodore JJ, Cassady CJ, Nair S, Vincent JB. Spectroscopic and biological activity studies of the chromium-binding peptide EEEEGDD. JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry. 2016;21(3):369-381. doi: 10.1007/s00775-016-1347-x
8. Baggerman JO, Smith ZK, Thompson AJ, Kim J, Hergenreder JE, Rounds W, Bradley JJ. Chromium propionate supplementation alters animal growth performance, carcass characteristics, and skeletal muscle properties in feedlot steers. Translational Animal Science. 2020;4(3):txaa146. doi: 10.1093/tas/txaa146
9. Bin-Jumah M, El-Hack M, Abdelnour S, Hendy Y, Ghanem H, Alsafy S, Khafaga A, Noreldin A, Shaheen H, Samak D, Momenah M, Allam A, Alkahtane A, Alkahtani S, Abdel D, Mohamed A, Lotfi A. Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review. Science of the Total Environment. 2020;707:135996. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135996
10. Bompadre TFV, Moretti DB, Sakita GZ, Ieda EH, Martinez MIV, Fernandes R, Machado-Neto EAN, Abdalla AL, Louvandini H. Long-term chromium picolinate supplementation improves colostrum profile of Santa Ines ewe. Biol Trace Elem Res. 2020;193(2):414-421. doi: 10.1007/s12011-019-01741-3
11. Deka RS, Mani V, Kumar M, Zade SS, Chand R, Kaur H. Effect of additional chromium supplementation on health status, metabolic responses, and performance traits in periparturient murrah buffaloes (*Bubalus bubalis*). Biol Trace Elem Res. 2015;163:132-143. doi: 10.1007/s12011-014-0173-7
12. Duan Y, Gong K, Xu S, Zhang F, Meng X, Han J. Regulation of cholesterol homeostasis in health and diseases: from mechanisms to targeted therapeutics. Signal Transduction and Targeted Therapy. 2022;7:265. doi: 10.1038/s41392-022-01125-5
13. Edwards KC, Kim H, Vincent JB. Release of trivalent chromium from serum transferrin is sufficiently rapid to be physiologically relevant. Journal of Inorganic Biochemistry. 2020;202:110901. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2019.110901
14. El Senosi YA, Omayma, Zaid ARA, Elmaged ADA, Ali MAM. Biochemical study on the regenerative effect of chromium picolinate on experimentally induced diabetes. World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 2018;7(10):325-343. doi: 10.20959/wjpps201810-12444
15. Han M, Chen Y, Li J, Dong Y, Miao Z, Li J, Zhang L. Effects of organic chromium sources on growth performance, lipid metabolism, antioxidant status, breast amino acid and fatty acid profiles in broilers. J Sci Food Agric. 2021;101(9):3917-3926. doi: 10.1002/jsfa.11053
16. Jahandideh F, Wu J. A review on mechanisms of action of bioactive peptides against glucose intolerance and insulin resistance. Food Science and Human Wellness. 2022;11(6):1441-1454. doi: 10.1016/j.fshw.2022.06.001

17. Jin D, Kang K, Wang H, Wang Z, Xue B, Wang L, Xu F, Peng Q. Effects of dietary supplementation of active dried yeast on fecal methanogenic archaea diversity in dairy cows. *Anaerobe*. 2017;44:78-86. doi: 10.1016/j.anaerobe.2017.02.007
18. Killilea DW, Killilea AN. Mineral requirements for mitochondrial function: A connection to redox balance and cellular differentiation. *Free Radical Biology and Medicine*. 2022;182:182-191. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2022.02.022
19. Kosla T, Lasocka I, Skibniewska EM, Kohnierzak M, Skibniewski M. Trivalent chromium (CrIII) as a trace element essential for animals and humans. *Medycyna Weterynaryjna*. 2018;74(9):560-567. doi: 10.21521/mw.6035
20. Lashkari S, Habibian M, Jensen SK. A review on the role of chromium supplementation in ruminant nutrition-effects on productive performance, blood metabolites, antioxidant status, and immunocompetence. *Biological Trace Element Research*. 2018;186(2):305-321. doi: 10.1007/s12011-018-1310-5
21. Mayorga EJ, Kvidera SK, Seibert JT, Horst EA, Abuajamieh M, Al-Qaisi M, Lei S, Ross JW, Johnson CD, Kremer B, Ochoa L, Rhoads RP, Baumgard LH. Effects of dietary chromium propionate on growth performance, metabolism, and immune biomarkers in heat-stressed finishing pigs¹. *J Anim Sci*. 2019;97(3):1185-1197. doi: 10.1093/jas/sky484
22. Mousavi F, Karimi-Dehkordi S, Kargar S, Khosravi-Bakhtiari M. Effects of dietary chromium supplementation on calf performance, metabolic hormones, oxidative status, and susceptibility to diarrhea and pneumonia. *Animal Feed Science and Technology*. 2019;248:95-105. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2019.01.004
23. Smock T, Samuelson K, Seiver H, Hergenreder J, Rounds W. PSIV-15 Effects of *Bacillus subtilis* PB6 and/or chromium propionate supplementation on health, performance, and blood parameters of high-risk cattle during the feedlot receiving period. *Journal of Animal Science*. 2019;97(S3):231. doi: 10.1093/jas/skz258.470
24. Vincent JB. New evidence against chromium as an essential trace element. *J Nutr*. 2017;147(12):2212-2219. doi: 10.3945/jn.117.255901

References

1. Sheida EV, Lebedev SV, Gubaidullina IZ, Ryazanov VA, Gavrish IA. Impact of different forms of chrome on the chemical elements metabolism in the organism of rats of the Wistar line. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;2(76):167-171.
2. Kislyakova EM, Lomaeva AA. Influence of organic chrome additives on productive and reproductive indicators of black and pestered breeds. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2017;4:76-80.
3. Lobkov VYu, Frolov AI. Biochrome in the composition of mixed pig feed. *Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga region*. 2018;3(43):54-57.
4. Kalashnikov AP, Fisinin VI, Shcheglova VV, Kleymenov NI. Norms and diets for feeding farm animals: Ref. book. 3rd ed., add. and reworked. Moscow; 2003:110-123.
5. Kokorev VA, Bolotin EV, Rybalkina NI, Fedaev AN, Gur'yanov AM. Productivity of mature cows at different levels of chromium in their diets. *Animal Agriculture and Veterinary Medicine*. 2017;2:20-30.
6. Faber W, Akmaliev T, Guseva O. Mineral nutrition for ruminants. *Livestock in Russia*. 2020;5:30-33.
7. Arakawa H, Kandadi MR, Panzhinskiy E, Belmore K, Deng G, Love E, Robertson PM, Comodore JJ, Cassady CJ, Nair S, Vincent JB. Spectroscopic and biological activity studies of the chromium-binding peptide EEEEGDD. *JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry*. 2016;21(3):369-381. doi: 10.1007/s00775-016-1347-x
8. Baggerman JO, Smith ZK, Thompson AJ, Kim J, Hergenreder JE, Rounds W, Bradley JJ. Chromium propionate supplementation alters animal growth performance, carcass characteristics,

and skeletal muscle properties in feedlot steers. *Translational Animal Science*. 2020;4(3):txaa146. doi: 10.1093/tas/txaa146

9. Bin-Jumah M, El-Hack M, Abdelnour S, Hendy Y, Ghanem H, Alsafy S, Khafaga A, Noreldin A, Shaheen H, Samak D, Momenah M, Allam A, Alkahtane A, Alkahtani S, Abdel D, Mohamed A, Lotfi A. Potential use of chromium to combat thermal stress in animals: A review. *Science of the Total Environment*. 2020;707:135996. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.135996

10. Bompadre TFV, Moretti DB, Sakita GZ, Ieda EH, Martinez MIV, Fernandes R, Machado-Neto EAN, Abdalla AL, Louvandini H. Long-term chromium picolinate supplementation improves colostrum profile of Santa Ines ewe. *Biol Trace Elem Res*. 2020;193(2):414-421. doi: 10.1007/s12011-019-01741-3

11. Deka RS, Mani V, Kumar M, Zade SS, Chand R, Kaur H. Effect of additional chromium supplementation on health status, metabolic responses, and performance traits in periparturient murrah buffaloes (*Bubalus bubalis*). *Biol Trace Elem Res*. 2015;163:132-143. doi: 10.1007/s12011-014-0173-7

12. Duan Y, Gong K, Xu S, Zhang F, Meng X, Han J. Regulation of cholesterol homeostasis in health and diseases: from mechanisms to targeted therapeutics. *Signal Transduction and Targeted Therapy*. 2022;7:265. doi: 10.1038/s41392-022-01125-5

13. Edwards KC, Kim H, Vincent JB. Release of trivalent chromium from serum transferrin is sufficiently rapid to be physiologically relevant. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2020;202:110901. doi: 10.1016/j.jinorgbio.2019.110901

14. El Senosi YA, Omayma, Zaid ARA, Elmaged ADA, Ali MAM. Biochemical study on the regenerative effect of chromium picolinate on experimentally induced diabetes. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2018;7(10):325-343. doi: 10.20959/wjpps201810-12444

15. Han M, Chen Y, Li J, Dong Y, Miao Z, Li J, Zhang L. Effects of organic chromium sources on growth performance, lipid metabolism, antioxidant status, breast amino acid and fatty acid profiles in broilers. *J Sci Food Agric*. 2021;101(9):3917-3926. doi: 10.1002/jsfa.11053

16. Jahandideh F, Wu J. A review on mechanisms of action of bioactive peptides against glucose intolerance and insulin resistance. *Food Science and Human Wellness*. 2022;11(6):1441-1454. doi: 10.1016/j.fshw.2022.06.001

17. Jin D, Kang K, Wang H, Wang Z, Xue B, Wang L, Xu F, Peng Q. Effects of dietary supplementation of active dried yeast on fecal methanogenic archaea diversity in dairy cows. *Anaerobe*. 2017;44:78-86. doi: 10.1016/j.anaerobe.2017.02.007

18. Killilea DW, Killilea AN. Mineral requirements for mitochondrial function: A connection to redox balance and cellular differentiation. *Free Radical Biology and Medicine*. 2022;182:182-191. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2022.02.022

19. Kosla T, Lasocka I, Skibniewska EM, Kołnierzak M, Skibniewski M. Trivalent chromium (CrIII) as a trace element essential for animals and humans. *Medycyna Weterynaryjna*. 2018;74(9):560-567. doi: 10.21521/mw.6035

20. Lashkari S, Habibian M, Jensen SK. A review on the role of chromium supplementation in ruminant nutrition-effects on productive performance, blood metabolites, antioxidant status, and immunocompetence. *Biological Trace Element Research*. 2018;186(2):305-321. doi: 10.1007/s12011-018-1310-5

21. Mayorga EJ, Kvidera SK, Seibert JT, Horst EA, Abuajamieh M, Al-Qaisi M, Lei S, Ross JW, Johnson CD, Kremer B, Ochoa L, Rhoads RP, Baumgard LH. Effects of dietary chromium propionate on growth performance, metabolism, and immune biomarkers in heat-stressed finishing pigs1. *J Anim Sci*. 2019;97(3):1185-1197. doi: 10.1093/jas/sky484

22. Mousavi F, Karimi-Dehkordi S, Kargar S, Khosravi-Bakhtiari M. Effects of dietary chromium supplementation on calf performance, metabolic hormones, oxidative status, and susceptibility to diarrhea and pneumonia. *Animal Feed Science and Technology*. 2019;248:95-105. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2019.01.004

23. Smock T, Samuelson K, Seiver H, Hergenreder J, Rounds W. PSIV-15 Effects of *Bacillus subtilis* PB6 and/or chromium propionate supplementation on health, performance, and blood parameters of high-risk cattle during the feedlot receiving period. *Journal of Animal Science*. 2019;97(S3):231. doi: 10.1093/jas/skz258.470

24. Vincent JB. New evidence against chromium as an essential trace element. *J Nutr*. 2017;147(12):2212-2219. doi: 10.3945/jn.117.255901

Информация об авторах:

Святослав Валерьевич Лебедев, доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, ведущий научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-912-345-87-38.

Оксана Вячеславовна Шошина, аспирант 3-го года обучения, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-987-891-96-55.

Виктория Владимировна Гречкина, кандидат биологических наук, и. о. заведующего лабораторией биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29.

Елена Владимировна Шейда, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-9228-62-64-02.

Айна Маратовна Камирова, кандидат биологических наук, научный сотрудник центра «Нанотехнологии в сельском хозяйстве», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 Января, 29, тел.: 8-919-842-46-99.

Александр Сергеевич Ушаков, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии пищеварения и межуточного обмена, Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных-филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр животноводства-ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста» (ВНИИФБиП), 249013, Калужская область, г. Боровск, сот.: 8926-559-30-08.

Information about the authors:

Svyatoslav V Lebedev, Dr. Sci. (Biology), Leading Researcher, Biological Tests and Examinations, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-912-345-87-38.

Oksana V Shoshina, 3st year postgraduate student, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-987-891-96-55.

Victoria V Grechkina, Cand. Sci (Biology), Acting Head of Biological Tests and Examinations, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000.

Elena V Sheyda, Cand. Sci (Biology), Researcher, Biological Tests and Examinations, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-922-862-64-02.

Aina M Kamirova, Cand. Sci (Biology), Researcher at the Centre "Nanotechnology in Agriculture", Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29, 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: 8-919-842-46-99.

Alexander S Ushakov, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher of Laboratory Of Physiology Of Digestion And Intermediary Metabolism, Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Agricultural Animals – a branch of Federal public budgetary scientific institution "Federal Research Center of Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst" (Russian Research Institute of Physiology, Biochemistry and Nutrition of Agricultural Animals), 249013, Kaluga region, Borovsk, tel.: 8926-559-30-08.

Статья поступила в редакцию 10.10.2022; одобрена после рецензирования 16.11.2022; принята к публикации 12.12.2022.

The article was submitted 10.10.2022; approved after reviewing 16.11.2022; accepted for publication 12.12.2022.